

# Die Weichen heute stellen

Autor(en): **Roth, Stefan**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **106 (2015)**

Heft 3

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-856608>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Die Weichen heute stellen

## Schlüsselfaktoren für eine erfolgreiche Energiewende im Strombereich

Das Gelingen der Energiewende ist von vielen Voraussetzungen abhängig. Neben technischen spielen auch gesellschaftliche sowie wirtschaftliche Aspekte eine wichtige Rolle. Auf gesellschaftlicher Ebene muss die Vision in ein stimmiges Konzept überführt werden, das unter Einbezug aller Anspruchsgruppen zu erarbeiten ist. Auf wirtschaftlicher Ebene empfiehlt sich die Abkehr vom derzeitigen Fördersystem in Richtung eines Auktionsmodells. Eine Analyse.

### Stefan Roth

Die moderne Zivilgesellschaft ist immer weniger bereit, Risiken mit weitreichenden Folgen zu tragen, unabhängig davon, wie gering Experten die Eintretenswahrscheinlichkeit solcher Ereignisse auch einschätzen. Das hängt einerseits damit zusammen, dass die betroffenen Themen sehr komplex und die Expertenmeinungen teilweise widersprüchlich sind, andererseits ist es die Abneigung, ohne explizite, eigene Zustimmung diesen Risiken ausgesetzt zu werden. Dass derartige Gefahren auch in einem technologisch hochentwickelten Land nicht nur theoretischer Natur sind, wurde der Weltöffentlichkeit mit der Reaktorkatastrophe im Kernkraftwerk Fukushima Daiichi am 11. März 2011 vor Augen geführt. In der Folge wurden die Technologieoptionen zur Stromerzeugung neu evaluiert und bewertet. Speziell im deutschsprachigen Europa wurden Kurskorrekturen hin zum kurz- bis mittelfristigen Verzicht auf die zivile Kernenergienutzung und zur verstärkten Förderung der erneuerbaren Energien vorgenommen.

Neben der möglichen Freisetzung von radioaktiven Stoffen als Folge einer Kernschmelze gibt es in unserem heutigen Energieversorgungssystem jedoch zwei weitere Hochrisikogruppen mit dem Potenzial, unseren Wohlstand und Lebensstil oder gar unsere Existenzgrundlage zu gefährden:

- Ressourcenknappheit bei Brenn- und Treibstoffen.
- Klimaerwärmung durch die Emission von Treibhausgasen.

Die genannten Grossrisiken hängen alle direkt oder indirekt mit der Nutzung nicht erneuerbarer Primärenergien zusammen. Aus dieser Einsicht entwickelte sich ein weitgehender Konsens darüber, dass die Menschheit diese durch erneuerbare Energiequellen ersetzen muss.

Obwohl der Anteil der Elektrizität am Endenergiebedarf in der Schweiz nur einen vergleichsweise geringen Anteil (etwa ein Viertel) ausmacht, steht die Stromerzeugung aufgrund des 2011 beschlossenen Kernenergieausstiegs in Politik und Öffentlichkeit im Fokus. Aus diesem Grund beschränkt sich der vorliegende Beitrag ausschliesslich auf die Energiewende im Strombereich. Der Bundesrat schlägt in seiner Energiestrategie 2050 eine Transition vom heutigen Produktionsportfolio, bestehend aus ca. 60% (erneuerbarer) Wasserkraft und ca. 40% (nicht erneuerbarer) Kernenergie, zu einem auf annähernd 100% erneuer-

barer Primärenergie basierenden Elektrizitätsversorgungssystem innerhalb der nächsten ca. 35 Jahre vor.

Das Generationenprojekt «Energiewende» ist äusserst vielschichtig und anspruchsvoll, weshalb dessen Gelingen von diversen Voraussetzungen abhängig sein wird. Man kann jedoch bereits heute erkennen, welche Schlüsselfaktoren massgeblich über Erfolg oder Misserfolg entscheiden werden. Die nachfolgende Analyse geht auf die drei Hauptthemenbereiche Technik, gesellschaftliche Akzeptanz und regulatorischer Rahmen ein.

### Technik

Das Stromversorgungssystem umfasst nicht nur die Stromerzeugungsanlagen selbst, wie die Diskussionen oft glauben machen. Die Stromnetze auf den verschiedenen Spannungsebenen, die Stromspeicher, die Leittechnik, etc. sind ebenfalls notwendige Bestandteile. Nicht ins eigentliche Versorgungssystem, aber ebenfalls in eine integrale Betrachtung gehören die Stromverbraucher.

Für die erneuerbare Stromerzeugung kommen in der Schweiz neben der bereits weit ausgebauten Wasserkraft Fotovoltaik-, Wind-, Biomasse- und Geothermie-Kraftwerke in Frage. Durch die zu erwartende starke Zunahme fluktuierend einspeisender Erzeugungsarten gewinnen die Pumpspeicherkraftwerke an Bedeutung. Weitere zentrale und neu auch kleinere, dezentrale Speicher werden notwendig sein, um jederzeit eine stabile Stromversorgung gewährleisten



**Bild 1** Sonne, Wind, Wasser, Biomasse und Geothermie sollten den zukünftigen Strom in der Schweiz bereitstellen.

Sandro Roth



**Bild 2** Der Bau von Windkraftanlagen im Gebirge bringt besondere Herausforderungen mit sich.

zu können. Auch die bestehenden Stromnetze, deren Architektur für ein komplett anderes System entworfen wurde, müssen an die neuen Gegebenheiten angepasst werden. Und nicht zuletzt muss das Netz kommunikationsfähig («smart») werden, damit sich zeitunkritische (thermische) Lasten ebenfalls an der Austarierung der Leistung im Versorgungssystem beteiligen können. Demzufolge erwarten wir von den Verbrauchern, dass sie ebenfalls «smart» werden, und natürlich mit der Energie viel effizienter umgehen, als dies aktuell häufig der Fall ist.

Die für eine erfolgreiche Energiewende benötigte Technologie existiert heute im Wesentlichen schon. Natürlich gibt es vereinzelt noch Kinderkrankheiten, und die breite Implementierung fehlt, abgesehen von ein paar Pilotprojekten, teilweise ebenfalls noch. Wichtig ist jedoch die Feststellung, dass in der Technik keine unüberwindbaren Hürden bestehen. In diesem langen Betrachtungszeitraum bis 2050 werden im Gegenteil Entwicklungen und Erfindungen gemacht werden, die wir uns heute überhaupt noch nicht vorstellen können, die aber die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende zusätzlich begünstigen werden.

Aus technischer Sicht spricht zudem auch nichts dagegen, erneuerbar erzeugte Elektrizität aus dem Ausland zu importieren, falls sich dies aufgrund von zu geringen Potenzialen oder zu wenig Erfolg versprechenden Bewilligungsverfahren im Inland aufdrängen sollte. Generell ist zu bemerken, dass die Wahl der Sys-

temgrenze Schweiz möglicherweise wirtschafts- und gesellschaftspolitisch begründet werden kann. Bezüglich Versorgungssicherheit und Kosten hingegen ist sie in jedem Fall suboptimal.

Dass ein komplett auf erneuerbarer Energie basierendes Stromversorgungssystem wirklich auch bei variierendem Angebot von Sonne, Wasser und Wind und variabler Stromnachfrage funktioniert, wurde in der Vergangenheit mit aufwendigen, komplexen Rechenmodellen mehrfach gezeigt. Den Nachweis der technischen Machbarkeit kann damit abschliessend als erbracht betrachtet werden.

### Gesellschaftliche Akzeptanz

In der föderalistisch organisierten Schweiz mit dem direktdemokratischen politischen Instrumentarium zur Einflussnahme sollten Entscheide von grosser Tragweite transparent kommuniziert, breit diskutiert, an der Urne legitimiert und bei Zustimmung in der Verfassung verankert werden. Dieser Weg wurde vom Bundesrat bei der Energiewende nicht eingeschlagen. Entspre-

chende Legitimationsdefizite wurden bewusst in Kauf genommen. Das ist problematisch, denn bei einem derart langfristig angelegten Generationenprojekt muss sichergestellt werden, dass die gesellschaftlichen und politischen Prioritäten nicht nach individuellen Opportunitäten den Tagesaktualitäten angepasst werden.

Um dem Souverän die Energiewende zu erklären, braucht es ein verständliches, nachvollziehbares und stringentes Konzept, welches die gewichtigen Chancen, aber auch die wesentlichen zu erbringenden Opfer offen darlegt. In die Entwicklung eines solchen Konzepts müssen alle betroffenen Anspruchsgruppen einbezogen werden, sodass konsensfähige Eckwerte definiert werden können. Das Konzept soll in groben Zügen die Architektur eines erneuerbaren Versorgungssystems aufzeigen. Dabei soll die zeitliche Entwicklung bis 2050 für die wichtigsten Eckwerte in zu erwartenden Bandbreiten abgebildet werden. Die Bandbreiten sind wichtig, um Platz für unterschiedliche technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklungen zu bieten.

Die Herleitung des Konzeptes richtet sich nach den politischen Zielen unter Einhaltung definierter Kriterien und Randbedingungen. Die einzuhaltenden Kriterien und Randbedingungen müssen unter Einbezug aller betroffenen Anspruchsgruppen erarbeitet werden und könnten etwa folgende Themen umfassen:

- Schutzkriterien für Mensch und Natur.
- Akzeptanzkriterien, beispielsweise für Stromleitungen oder Windturbinen.
- Betriebliche Einschränkungen für Stromerzeugungsanlagen, beispielsweise Betriebszeiten.
- Individuell zulässige Eingriffe in die Stromnachfragesteuerung.
- Grad der Versorgungssicherheit.
- Anteil an inländischer und regionaler Wertschöpfung.

	Technologie zur Elektrizitäts-			
	Erzeugung	Speicherung	Übertragung	Verteilung
Gesellschaftliche Akzeptanz	•••	••	•••	•••
Marktmodell	•••	•••	•	•
Geschäftsmodelle	•••	•••	•	••
Individuelles Verhalten	••	••	•	••
Staatliche Eingriffe	•••	•••	•••	•••

**Tabelle** Einfluss wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und politischer Rahmenbedingungen auf die Hauptkomponenten des Elektrizitäts-Versorgungssystems.

3 Punkte: hoch; 2 Punkte: mittel; 1 Punkt: tief.



**Bild 3** Stromerzeugung aus Biomasse kann flexibel den Systembedürfnissen angepasst werden.

Sobald sich die Anspruchsgruppen auf die Bestimmung der Kriterien geeinigt haben, ist die Herleitung des optimalen Konzepts ausschliesslich eine technisch-ökonomische Fragestellung. In einem komplexen Modell wird eine Energielandkarte Europas mit allen Potenzialflächen zur Erzeugung erneuerbaren Stromes (Quellen) und allen Stromverbrauchern (Senken) abgebildet und mit heutigen und zukünftigen Technologieinformationen, statistischen Wetterdaten, etc. hinterlegt. Die oben erwähnten, einzuhaltenden Kriterien fliessen als sogenannte Nebenbedingungen in die Simulation ein. Als Ergebnis einer solchen Optimierung erhalten wir die volkswirtschaftlich kostengünstigste Variante eines Stromversorgungssystems, welches alle gestellten Anforderungen erfüllt. Damit können Aussagen zu folgenden Themen gemacht werden:

- Art, Menge und geografische Verteilung der benötigten Erzeugungstechnologien, Speicher, Übertragungs- und Verteilungen, etc.
- Zu tätige Investitionen.
- Stromgestehungskosten, jährliche Stromkosten.
- Anteil an inländischer Erzeugung.
- Jeweilige Spannungsebene der Stromspeisungen.

Die beschriebene Optimierungsrechnung lässt sich nun für das Spektrum der zu erwartenden Entwicklungen der wesentlichen Parameter wiederholen, um Prognoseunsicherheiten abfangen zu können.

Das Entscheidende bei dieser Methodik ist folglich, einen Konsens für die Nebenbedingungen zu finden. Gelingt dies, braucht es anschliessend keine Voten für mehr Wasserkraft oder für weniger Windturbinen. Der optimale Mix ergibt sich aus der Modellrechnung bei gleichzeitiger Einhaltung der Nebenbedingungen. Andererseits ist auch klar, dass nicht beliebig viele Nebenbedingungen aufgestellt werden können, die das System überbestimmen und eine Lösung verunmöglichen würden.

Beispielsweise führt eine solche Simulation mit unideologisch-pragmatischen Nebenbedingungen zu einem Verhältnis der energetischen Anteile zwischen Windkraft und Fotovoltaik von etwa 3 zu 1. Interessanterweise schlägt der Bundesrat in seiner Energiestrategie 2050 gerade ein umgekehrtes Verhältnis von ungefähr 1 zu 3 vor, vermutlich aufgrund der hohen Akzeptanz und des grossen Inlandpotenzials der Fotovoltaik.

### Regulatorischer Rahmen

Nehmen wir die technische Machbarkeit und den gesellschaftlichen Rückhalt der Energiewende als gegeben, stellt sich die Frage nach dem für eine effektive und effiziente Umsetzung notwendigen ökonomischen Rahmen.

Heute beziehen wir einen Teil unserer Elektrizität aus einem nach dem Umlageverfahren geförderten System (neue erneuerbare Energien über die kostendeckende Einspeisevergütung) und den verbleibenden Rest (konventionelle Kraftwerke, Speicher) aus einem teillibe-

ralisierten Strommarkt. Das Ziel ist es, den neuen erneuerbaren Technologien mit einer Anschubfinanzierung den Markteintritt zu ermöglichen.

Die weitverbreitete Meinung ist, dass die erneuerbaren Energien nur kostengünstig genug werden müssen, um sich selbst an diesem Strommarkt behaupten zu können, dass also die Marktintegration mit der Kostendegression von alleine gelinge. Allerdings hat die Sache einen entscheidenden Haken: Der Preis, der an den verschiedenen europäischen Strombörsen stündlich gebildet wird und jeweils für alle Anbieter gilt, entspricht theoretisch jeweils den variablen Kosten des teuersten, für die Nachfragedeckung notwendigen Kraftwerks (Merit-Order-Prinzip). Dieses sogenannte Grenzkraftwerk ist heute in den meisten Fällen ein fossil betriebenes, dessen Marginalkosten sich aus den Brennstoff-, CO<sub>2</sub>- und variablen Betriebs- und Unterhaltskosten zusammensetzen. Mit den sich daraus ergebenden Strompreisen konnten bisher alle Marktteilnehmer leben. Werden nun die erneuerbaren Produktionsanlagen im Rahmen der Energiestrategie 2050 im gewünschten Umfang zugebaut, hat das Grenzkraftwerk immer häufiger Grenzkosten nahe null, was folglich systematisch auch zu Strompreisen um null führen wird. Damit können weder die in der Übergangsphase notwendigen konventionellen Kraftwerke kostendeckend betrieben noch die erneuerbaren Anlagen in den Markt integriert werden. Ein radikaler Systemwechsel unter dem Aspekt von Kosten und Preisen drängt sich daher auf.

Einen guten Kompromiss zwischen Steuerung der Entwicklung des Versorgungssystems (auch in der langen Übergangsphase) und Markt stellt das Auktionsmodell dar. Darin gibt es gegenüber den Produzenten nur einen Abnehmer der erzeugten Elektrizität, nämlich die staatlich eingesetzte Agentur. Die für ein Gebiet zuständige Agentur schreibt technologiespezifische, jährlich zu erstellende Kraftwerkskontingente aus. Die günstigsten Angebote erhalten den Zuschlag und in der Folge über die entsprechende kalkulatorische Lebensdauer des jeweiligen Kraftwerks in Abhängigkeit der verwendeten Technologie die vereinbarten Vergütungen. Die Agentur agiert hierbei als Intermediär, der die Elektrizität zu zeitlich variablen Preisen an die Stromkunden weitergibt, sodass sich Knappheitseffekte in den Bezugspreisen widerspiegeln und über die Elas-

tizität der Nachfrage teure Residuallastspitzen reduziert werden können. Dieses System vereint alle wesentlichen Vorteile:

- Die Entwicklung des Versorgungssystems kann direkt gesteuert werden, sowohl bezüglich zeitlicher, regionaler wie auch technologischer Ausprägung. Ein langfristiges Ausbauziel wird somit sicher erreicht.
- Der Zubauplan ist über mehrere Jahre bekannt, was der Wirtschaft stabile Entwicklungsperspektiven gibt.
- Wer in einer Auktion den Zuschlag erhält, erhält eine definierte Vergütung pro Energieeinheit über die Lebensdauer des Kraftwerks. Weil auf diese Weise die Erträge garantiert sind, werden auf das investierte Kapital kaum Risikozuschläge verlangt, was bei kapitalintensiven Anlagen eine Bedingung für tiefe Stromgestehungskosten ist.
- Durch die Auktionierung werden die kostengünstigsten Projekte realisiert. Die Kraftwerke, die gebaut werden, sind betriebswirtschaftlich rentabel und führen zu den volkswirtschaftlich geringsten Kosten.
- Das Verhalten der Stromkunden führt aufgrund kostenbasierter, zeitvariabler Preise zu effizienten Allokationen im System.

So offensichtlich die Vorteile eines solchen Auktionssystems sind, so klar ist es auch, dass sich die Schweiz nicht einfach aus dem europäischen Verbund lösen kann. Die Umsetzung dieser Idee ist nur möglich, wenn im gesamten UCTE-Netzverbund ein kompatibles System eingeführt wird.

Natürlich entspricht dieses Auktionsmodell in vielen Punkten nicht den Grundsätzen eines vollständig liberalisierten und freien Strommarktes. Doch der Strommarkt unterscheidet sich ganz wesentlich vom Konsumgütermarkt. Möchte ein Kunde beispielsweise Äpfel kaufen und findet ein leeres Regal vor, ist das kein Problem, denn es gibt mit Birnen, Pfirsichen und Bananen genügend Substitutionsprodukte. Beim Strom ist das anders, denn kurzfristige Substitutionsmöglichkeiten sind kaum gegeben, und ein Verzicht oder Verschieben des Konsums ist meist nicht opportun. Im Gegensatz zum Apfelregal muss jede Einheit Strom zeitgleich zum Kundenbedarf ins «Stromregal» gelegt werden. Gelingt es nicht, dieses Gleichgewicht jederzeit exakt herzustellen, bricht das ganze System zusammen.

## Fazit

Zusammenfassend können die folgenden, wichtigsten Erkenntnisse festgehalten werden:

- Unser Wohlstand und unsere Lebensgrundlagen sind langfristig bedroht, wenn es uns nicht gelingt, den hohen Anteil an nicht erneuerbaren Primärenergien dramatisch zu reduzieren.
- Unsere Zukunft ist aber nicht einfach Schicksal, sondern zu einem massgeblichen Teil die Konsequenz unserer Entscheidungen. Mit dem politischen Entscheid für die Energiewende wurde die erste Weiche richtig gestellt.
- Die für eine erfolgreiche Energiewende erforderlichen technischen Voraussetzungen sind bereits heute erfüllt. Die über den langen Zeitraum noch stattfindenden technischen Entwicklungen und Erfindungen werden den Prozess zusätzlich begünstigen.
- Die Energiewende muss von einer breiten Bevölkerungsmehrheit getragen werden. Dazu braucht es eine umfassende Aufklärung und eine transparente Auseinandersetzung mit dem Thema. Die erforderlichen Kompromisse müssen aufgezeigt und die Zielkonflikte diskutiert werden. Alle massgeblich betroffenen Anspruchsgruppen müssen in die vorzunehmenden Güterabwägungen einbezogen werden.
- Die aktuellen Legitimationsdefizite der Energiewende müssen durch eine Volksabstimmung behoben werden. Das Langzeitprojekt Energiewende

braucht langfristig stabile Rahmenbedingungen.

- Das heutige Energy-only-Market-Design lässt eine Marktintegration der erneuerbaren Stromerzeugung nicht zu. Als marktnahes und in idealer Weise steuerungsfähiges Konzept weist das Auktionsmodell die grössten Vorteile auf. Bei der Einführung eines neuen Marktdesigns ist die Schweiz allerdings auf entsprechende gemeinsame Bestrebungen auch in den übrigen UCTE-Ländern angewiesen.
- In der Tendenz wird nicht-erneuerbarer Strom zukünftig teurer und der erneuerbar erzeugte günstiger werden. Längerfristig wird die erneuerbar erzeugte Energie die günstigste sein. Dies gilt insbesondere, wenn externe Kosten der Stromerzeugung adäquat mitberücksichtigt werden.
- Das Ziel einer erneuerbaren Elektrizitätsversorgung ist umso einfacher zu erreichen, je früher wir damit beginnen, weil uns dadurch für die Umsetzung mehr Zeit zur Verfügung steht. Weiteres Zuwarten bringt keinerlei Vorteile, hingegen gewichtige Nachteile. Werden diese Punkte konsequent berücksichtigt, ist die Wahrscheinlichkeit eines Gelingens der Energiewende sehr hoch.

## Autor



Prof. **Stefan Roth** ist Dozent für erneuerbare Energie an der Fachhochschule Nordwestschweiz.  
 Fachhochschule Nordwestschweiz,  
 5210 Windisch  
 stefan.roth1@fnw.ch

## Résumé

### Poser des jalons dès aujourd'hui

#### Facteurs clés pour un tournant énergétique réussi dans le domaine de l'électricité

Extrêmement complexe et exigeant, le projet intergénérationnel du tournant énergétique dépend de nombreuses conditions. Trois facteurs clés président à son succès dans le domaine de l'électricité : la technique, l'acceptation sociale et le cadre légal.

Force est de constater que le domaine technique ne représente plus un obstacle infranchissable. Au contraire, divers développements et découvertes encore inimaginables aujourd'hui seront réalisés d'ici 2050, favorisant ainsi la mise en œuvre du tournant énergétique. De nombreux modèles de calcul ont d'ailleurs déjà démontré la viabilité d'un système d'approvisionnement en électricité intégralement basé sur les énergies renouvelables.

La société, quant à elle, a besoin d'un concept compréhensible qui présente non seulement les opportunités considérables du tournant énergétique, mais également les sacrifices essentiels à consentir pour atteindre un tel objectif. Il décrit dans les grandes lignes la structure d'un système d'approvisionnement basé sur les énergies renouvelables. À cet égard, les critères à respecter doivent être établis en incluant toutes les parties prenantes concernées.

Enfin, en ce qui concerne le cadre légal, il est recommandé d'abandonner le modèle d'encouragement actuel pour un autre, basé sur les enchères, qui offre divers avantages. Cela permettra ainsi de piloter directement le développement du système d'approvisionnement, d'offrir au monde économique des perspectives d'évolution stables et de réaliser les projets les plus intéressants en termes de coûts.

Se